SERI BUNGA RAMPAI

EKOLOGI LINGKUNGAN KAWASAN KARST INDONESIA

Menjaga Asa Kelestarian Kawasan Karst Indonesia

Editor
Sudarmadji | Eko Haryono | Tjahyo Nugroho Adji | M. Widyastuti
Rika Harini | Emilya Nurjani | Ahmad Cahyadi | Henky Nugraha

SERI BUNGA RAMPAI

EKOLOGI LINGKUNGAN KAWASAN KARST INDONESIA

Menjaga Asa Kelestarian Kawasan Karst Indonesia

UU No 19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta

Fungsi dan Sifat hak Cipta Pasal 2

1. Hak Cipta merupakan hak eksklusif bagi pencipta atau pemegang Hak Cipta untuk mengumumkan atau memperbanyak ciptaannya, yang timbul secara otomatis setelah suatu ciptaan dilahirkan tanpa mengurangi pembatasan menurut peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Hak Terkait Pasal 49

1. Pelaku memiliki hak eksklusif untuk memberikan izin atau melarang pihak lain yang tanpa persetujuannya membuat, memperbanyak, atau menyiarkan rekaman suara dan/atau gambar pertunjukannya.

Sanksi Pelanggaran Pasal 72

1. Barangsiapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal 2 ayat (1) atau pasal 49 ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).
2. Barangsiapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)

SERI BUNGA RAMPAI

EKOLOGI LINGKUNGAN KAWASAN KARST INDONESIA

Menjaga Asa Kelestarian Kawasan Karst Indonesia

Editor

Prof. Dr. Sudarmadji, M.Eng.Sc.

Dr. Eko Haryono, M.Si.

Dr. Tjahyo Nugroho Adji, M.Sc.Tech.

Dra. M. Widyastuti, M.T.

Dr. Rika Harini, M.P.

Emilya Nurjani, S.Si., M.Si.

Ahmad Cahyadi, S.Si.

Henky Nugraha, S.Si.

Jl. Elang 3, No 3, Drono, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman
Jl.Kaliurang Km.9,3 – Yogyakarta 55581
Telp/Faks: (0274) 4533427
Hotline: 0838-2316-8088
Website: www.deepublish.co.id
E-mail: deepublish@ymail.com

Katalog Dalam Terbitan (KDT)

SUDARMADJI, dkk
Ekologi Lingkungan Kawasan Karst Indonesia: Menjaga Asa Kelestarian Kawasan Karst Indonesia /oleh Sudarmadji, dkk.--Yogyakarta: Deepublish, Maret 2013.

ix, 140 hlm.; 25 cm

ISBN **978-602-280-646-2**

1. Geografi I. Judul
910

Cetakan pertama: Maret 2013

EKOLOGI LINGKUNGAN KAWASAN KARST INDONESIA: MENJAGA ASA KELESTARIAN KAWASAN KARST INDONESIA

Editor oleh Sudarmadji, Eko Haryono, Tjahyo Nugroho Adji, M. Widyastuti, Rika Harini, Emilya Nurjani, Ahmad Cahyadi, Henky Nugraha
Desain cover oleh Irwan Fahrudin
Penata letak oleh Ahmad Cahyadi dan Henky Nugraha

PENERBIT DEEPUBLISH
(Grup Penerbitan CV BUDI UTAMA)
Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

KATA PENGANTAR

Kawasan karst adalah bentanglahan yang didominasi oleh proses pelarutan batuan. Proses ini merupakan interaksi yang unik antara batuan yang mudah larut, karbondioksida dari atmosfer dan air, menciptakan suatu fenomena alam yang sangat unik dan khas. Perkembangan lorong-lorong pelarutan termasuk diaklas-diaklas yang menghubungkan bagian permukaan dengan sistem sungai bawah tanah menyebabkan kondisi kering dijumpai di bagian permukaan, sedangkan di bagian bawah permukaan kawasan karst memiliki sumberdaya air yang melimpah.

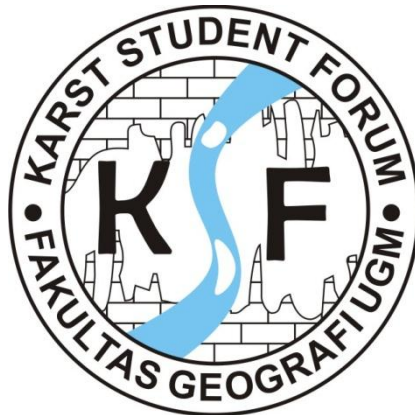
Keunikan fisik kawasan karst tidak saja berpengaruh terhadap kondisi lingkungan fisik yang berkembang di wilayah ini, tetapi berpengaruh pula terhadap kehidupan makhluk hidup yang ada di dalamnya. Kawasan karst memiliki karakteristik lingkungan yang khas yang mungkin tidak akan ditemui di wilayah yang lain, Selain itu, keterbatasan sumberdaya air dan lahan di bagian permukaan telah membentuk jiwa-jiwa pantang menyerah yang mampu beradaptasi dengan menciptakan budaya yang sangat unik dan khas pula.

Pada era perubahan global yang terjadi saat ini, kawasan karst Indonesia memiliki peranan yang strategis. Adanya lapisan epikarst di bagian atas kawasan karst memungkinkan adanya waktu tunda sehingga mampu menyimpan dan mengalirkan air sampai pada mataair dan sungai bawah tanah pada musim kemarau. kondisi ini menyebabkan kawasan karst menjadi salah satu tandon air besar di bumi. Selain itu, proses pelarutan yang menyebabkan adanya penyerapan karbondioksida atmosfer menjadikannya salah satu kawasan yang sangat penting terkait dengan pencegahan dan mitigasi perubahan iklim.

Kawasan karst adalah kawasan yang mudah rusak "*fragile*" serta memiliki daya lenting yang sangat kecil. Kondisi demikian mengharuskan kawasan karst harus direncakan dengan sangat matang sehingga kerusakan lingkungan dapat diminimalisir. Buku ini hadir sebagai media berbagi pengalaman terkait penelitian di kawasan karst yang diharapkan mampu memberikan sumbangsih dalam pengelolaan kawasan di Indonesia pada khususnya dan dunia pada umumnya. Buku ini terwujud atas prakarsa *Karst Student Forum* (KSF) Fakultas Geografi UGM dan Kelompok Studi Karst Fakultas Geografi UGM. Semoga buku ini bermanfaat.

28 Desember 2012

Editor

PENULISAN BUNGA RAMPAI INI TERSELENGGARA ATAS PRAKARSA

SERTA

KELOMPOK STUDI KARST
FAKULTAS GEOGRAFI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

DAFTAR ISI

KONDISI DAERAH TANGKAPAN SUNGAI BAWAH TANAH KARST GUNUNGSEWU DAN KEMUNGKINAN DAMPAK LINGKUNGANNYA TERHADAP SUMBERDAYA AIR (HIDROLOGIS) KARENA AKTIVITAS MANUSIA

Tjahyo Nugroho Adji[1]

[1]Jurusan Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada
[2]Kelompok Studi Karst Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada
Email: [1]adji@geo.ugm.ac.id

INTISARI

Isu strategis tentang daerah karst dalam fungsinya sebagai tandon air utama semakin mengemuka akhir-akhir ini. Sebaliknya, daerah karst juga mempunyai berbagai macam potensi yang jika dimanfaatkan akan memberi dampak yang positif terhadap kondisi ekonomi masyarakat yang tinggal di dalamnya. Tulisan ini bertujuan untuk secara teoritis mengungkapkan kondisi daerah tangkapan sungai bawah tanah di Karst Gunungsewu, sekaligus menjelaskan dampak yang akan muncul ketika terjadi aktivitas penambangan di dalamnya.

Tulisan ini terbagi menjadi beberapa sub bab, di antaranya adalah kondisi daerah tangkapan hujan Sungai Bribin di karst Gunungsewu, peran aliran yang bersifat lambat untuk ketersediaan air, aktivitas penambangan di daerah tangkapan S. Bribin, dan dampak penambangan terhadap S. Bribin.

Terakhir, tulisan ini mengungkapkan bahwa secara teoritis akan terjadi beberapa dampak akibat aktivitas penambangan, yaitu: (1) terjadi penurunan kuantitas air yang tersimpan di daerah tangkapan S. Bribin; (2) terjadinya perubahan perilaku waktu tunda terhadap hujan puncak pada puncak debit mataair maupun sungai bawah tanah di daerah tangkapan S. Bribin; (3) terjadinya perubahan prosentase aliran dasar (diffuse flow) dibanding debit total; (4) terjadi kemungkinan bertambahnya pencemaran air; dan (5) mengurangi proses penyerapan karbon melalui siklus air pada proses pelarutan batuan gamping di daerah tangkapan S. Bribin. Selain itu, tulisan ini menyimpulkan pula bahwa kegiatan penambangan pada suatu sistem sungai bawah tanah harus dilakukan dengan penuh kehati-hatian serta dibatasi peruntukannya, karena terganggunya sistem penyimpanan dan pelorongan akuifer batugamping akan berakibat terhadap berkurangnya air baik secara kualitas atau kuantitas pada keluaran berupa sungai bawah tanah atau mataair.

Kata kunci : Sungai Bawah Tanah, Karst, Dampak Lingkungan, Aktivitas Manusia

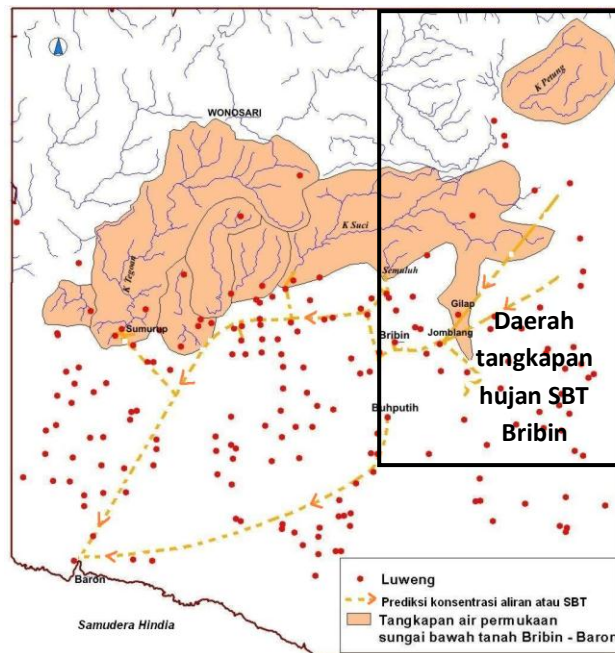
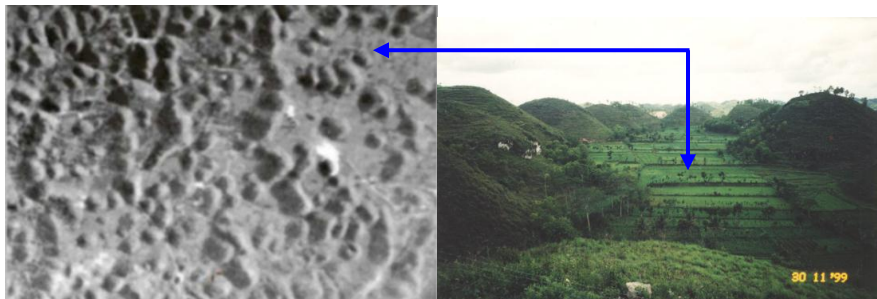
PENDAHULUAN

Sebagai suatu daerah, wilayah Kabupaten Gunungkidul dikenal sebagai kawasan yang tandus, dan selalu menderita kekurangan air untuk mencukupi kebutuhan domestik. Anggapan ini adalah sebagai akibat kondisi geomorfologi sebagian besar wilayah Kabupaten Gunungkidul yang dicirikan oleh bukit-bukit berbatuan gamping yang dikenal sebagai daerah karst. Apakah yang bisa kita jelaskan dengan terminologi karst? Ford dan Williams (1992) mendefinisikan istilah karst sebagai medan dengan karakteristik

hidrologi dan bentuklahan yang diakibatkan oleh kombinasi dari batuan yang mudah larut (*soluble rock*) dan mempunyai porositas sekunder yang berkembang baik. Sebagai akibatnya, kawasan karst dicirikan dengan minimnya sungai permukaan dan berkembangya jalur-jalur sungai bawah permukaan (sungai bawah tanah=SBT). Karst di wilayah Gunungkidul termasyhur di dunia dengan sebutan karst Gunungsewu yang diperkenalkan pertama kali oleh Danes (1910) dan Lehmann (1936). Karst ini dicirikan dengan berkembangnya kubah karst (*kegelkarst*), yaitu bentukan positif yang tumpul, tidak terjal atau sering diistilahkan kubah *sinusoidal. Kegelkarst* oleh Sweeting (1972) dikategorikan sebagai bagian dari tipe karst tropis. Apakah karst Gunungsewu di Kabupaten Gunungkidul miskin air? Dari hasil inventarisasi oleh MacDonalds and Partners (1984), ternyata terungkap bahwa terdapat beberapa SBT dengan debit yang besar dan melimpah (Bribin-1500 lt/dt, Seropan –400 lt/dt, Baron-8000 lt/dt, Ngobaran-150 lt/dt), terdapat belasan sistem SBT dengan debit dibawah 100 lt/dt, dan terdapat pula ratusan mataair dengan debit yang bervariasi. Hal ini menunjukkan bahwa sistem SBT dan keluarannya berupa mataair tentunya mempunyai kantong-kantong atau reservoir air yang mengimbuhnya dalam jumlah simpanan yang besar.

Sekitar sepuluh tahun terakhir ini, banyak opini di kalangan pemerhati kawasan karst Gunungsewu (akademisi, praktisi, pecinta alam, speleolog, LSM, pemerintah, orang awam, dll) tentang apakah maraknya kegiatan penambangan dan kegiatan lain yang bermotif ekonomi akan mengurangi kapasitas simpanan air di karst Gunungsewu? Dan apakah kegiatan-kegiatan tersebut merupakan ancaman bagi keberlangsungan potensi sumberdaya air di karst Gunungkidul, khususnya yang berupa SBT dan mataair. Untuk itulah, maka tulisan ini akan menjelaskan konsepsi dasar media penyimpan air di kawasan karst Gunungsewu, peranan aliran yang bersifat lambat pada lorong-lorong yang kecil di bagian atas bukit-bukit karst, serta perkiraan dampak aktivitas manusia terhadap keberlangsungan sumberdaya air SBT beserta penjelasan mekanismenya. Contoh-contoh kasus yang banyak digunakan pada tulisan ini adalah pada kawasan sistem SBT Bribin-Baron.

KONDISI DAERAH TANGKAPAN HUJAN SBT BRIBIN

Sistem SBT Bribin sebenarnya merupakan bagian dari sistem SBT terbesar di karst Gunungsewu yaitu sistem SBT Bribin-Baron (Gambar 1). Secara khusus, dilihat dari permukaan, daerah tangkapan hujan S. Bribin pada bagian hulu sistem Bribin Baron, merupakan bentang alam bertopografi karst dengan ciri khusus berupa ribuan bukit-bukit sisa proses pelarutan yang dikenal sebagai kawasan karst Gunungsewu. Sebagai salah satu kawasan karst di Indonesia, Gunungsewu dapat dikategorikan sebagai karst jenis terbuka (*bare/nackter karst*) yang dicirikan oleh bentukan karst yang merupakan fenomena termashyur dari topografi karst yang sangat khas berupa *conical hills* yang tidak dijumpai pada kawasan karst lain di seluruh dunia. Oleh Haryono and Day (2004) tipe bukit karst ini pada daerah tangkapan S. Bribin ini disebut sebagai *residual cone karst* atau *karst tower* yang dari foto udara (Gambar 2) terlihat sebagai dataran planasi dengan kubah-kubah karst di tengah-tengahnya. Morfologi karst tower ini merupakan kelanjutan dari perkembangan karst tipe poligonal.

Gambar 1. Sistem SBT Bribin Baron

Gambar 2. Kenampakan *Kegel* Karst Gunungsewu dari Foto Udara (Kiri) dan Lapangan (Kanan-foto oleh Haryono, 1999)

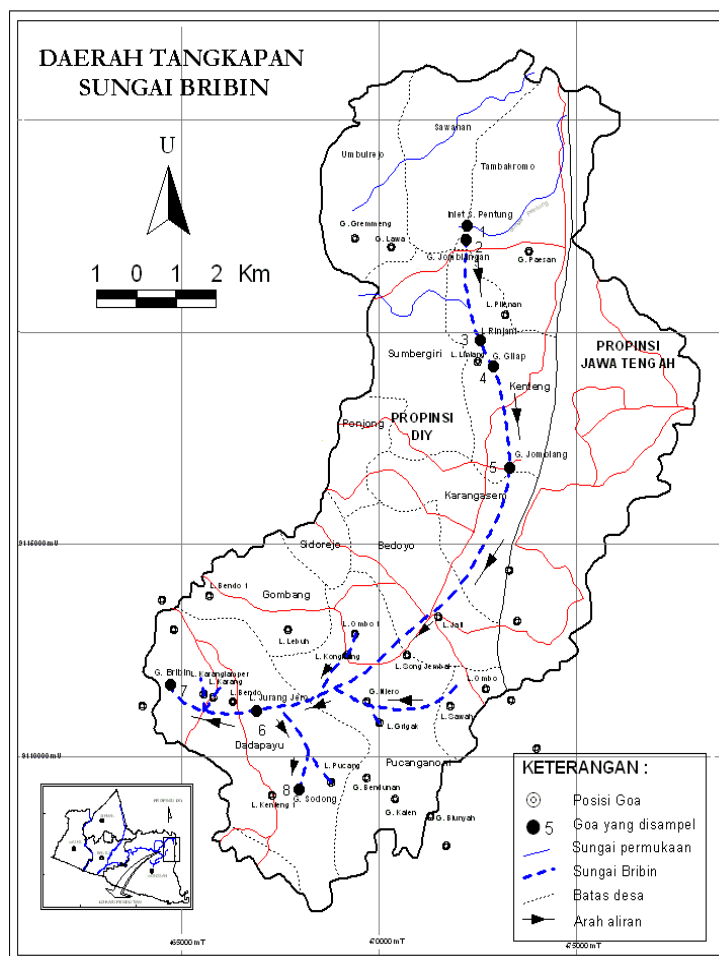
Sementara itu, Menurut Adji dan Nurjani (1999) daerah tangkapan hujan S. Bribin mencakup luasan lebih kurang 55 km^2 dan mempunyai bentuk seperti tapal kuda (Gambar 3). Batas yang diprediksikan adalah batas topografi permukaan (igir) dengan asumsi bahwa hujan yang jatuh ke wilayah itu akan diatuskan ke Sungai Bribin. Penetapan daerah tangkapan Bribin ini mengabaikan karakteristik sistem karst yang khas yang memungkinkan terjadinya "kebocoran" air keluar ataupun masuk melewati batas DAS. Daerah tangkapan hujan Bribin memiliki 39 buah goa (vertikal dan horizontal) yang sebagian besar memiliki air dengan debit aliran yang bervariasi. Sebagian besar goa mempunyai sistem yang tergabung dalam sistem utama Goa Bribin.

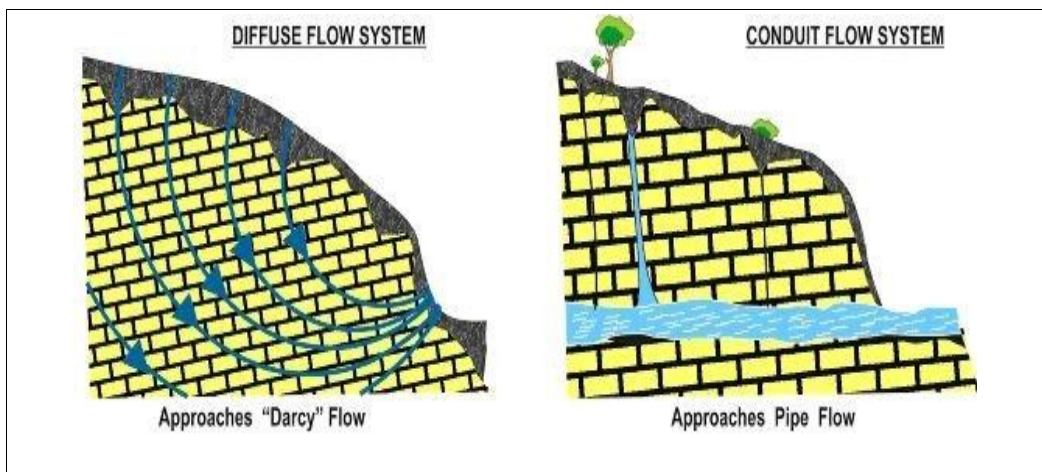
Secara umum sifat hidrologi goa-goa di DAS Bribin dapat dibagi atas :

a. Goa pada aliran primer, yaitu mempunyai aliran sebagai hubungan langsung dengan aliran utama Sungai Bribin

b. Goa pada aliran sekunder, yaitu mempunyai aliran sebagai sub aliran yang kemudian bergabung dengan aliran primer Sungai Bribin.
c. Goa yang tidak memiliki sistem (belum diketahui), walaupun mempunyai airtanah, tetapi sistem pergoaannya belum dapat didefinisikan.

Dari Gambar 2 dapat didefinisikan bahwa secara umum arah aliran Sungai Bribin adalah Utara-Selatan yang kemudian berbelok kearah Barat Daya di sekitar Bedoyo dan keluar sebagai outlet di Goa Bribin. Jika lokasi di sekitar daerah Tambak Romo dianggap sebagai hulu Sungai Bribin, debit aliran tercatat di Goa Jomblangan (aliran primer) adalah sekitar 37 l/dt, kemudian Goa Gilap (primer - 40 l/dt), terdeteksi lagi di Goa Jomblangbanyu (primer – 350 l/dt), kemudian Luweng Jurangjero (primer - 1200 l/dt), dan terakhir sebagai outlet di Goa Bribin sebesar 1500 l/dt, serta ada bocoran ke Gua Ngreneng (50 lt/dt). Selain itu, beberapa goa lain diluar aliran primer atau non sistem yang memiliki debit air cukup besar adalah Luweng Sindon (non sistem – 200 l/dt) dan Goa Gremmeng (non sistem – 300 l/dt).

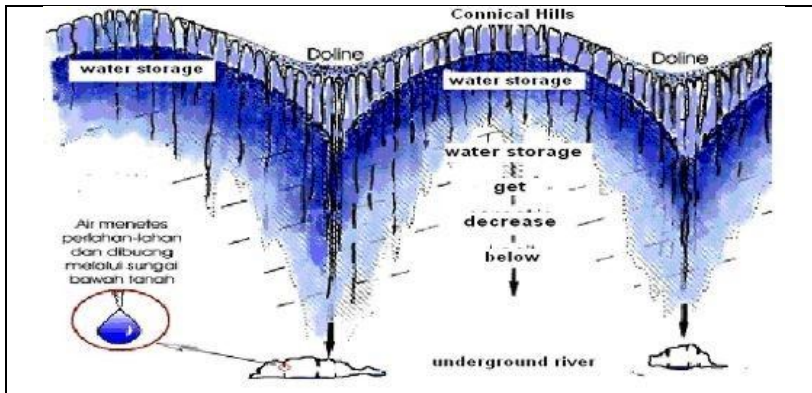
Gambar 3. Peta perkiraan daerah tangkapan air S. Bribin, sebaran goa dan sistem jaringan sungainya (Adji dan Nurjani, 1999)

PERANAN ALIRAN YANG BERSIFAT LAMBAT (*DIFFUSE FLOW*) DAN BUKIT KARST

Seperti yang dijelaskan oleh White (1993), Ford and Williams (1992), Smart and Hobbes (1986) dan juga Gillieson (1996), secara umum komponen aliran karst dibedakan menjadi 2 tipe aliran, yaitu: <u>aliran *conduit*</u> and <u>aliran *diffuse*</u>**.** Aliran *diffuse* mengisi SBT secara seragam dan perlahan-lahan melalui retakan-retakan yang berukuran 10^{-3} - 10 mm (Bonacci, 1990) sebagai aliran infiltrasi dari zone simpanannya di permukaan bukit karst. Sebagai ilustrasi, aliran tipe ini menetes atau merembes pada ornamen gua. Kemudian, aliran *conduit* bergerak dengan cepat dari permukaan menuju SBT melalui lorong-lorong yang besar berukuran 10^2-10^4 mm atau lebih, atau sering disebut sebagai saluran terbuka. Akibatnya, jika ada masukan aliran yang besar melalui pelorongan ini, maka air di SBT akan cepat naik dan semua pencemar dapat ikut masuk ke SBT. Gambar 4 mengilustrasikan dua jenis aliran ini.

Gambar 4. Aliran *Diifuse* dan *conduit* di akuifer karst (White, 1988)

Dalam ilmu hidrologi, aliran dasar dikenal sebagai *baseflow* atau aliran andalan dan berperan penting sebagai satu-satunya komponen penyedia air (debit) saat kemarau. Situasi yang sama berlangsung di akuifer karst, dimana aliran *diffuse* sebagai aliran dasar mempunyai peranan yang sangat penting, sehingga SBT tidak pernah kering saat kemarau. Sebagai contoh pada puncak kemarau (Agustus-September), dimana tidak ada hujan sama sekali dan tidak ada masukan aliran dari permukaan yang mengimbuh SBT, debit di SBT Bribin masih tinggi (1600 lt/dt), yaitu semuanya diimbuh oleh aliran *diffuse* ini. Pertanyaan: faktanya, **di mana sebenarnya air di bukit-bukit karst tersimpan**?

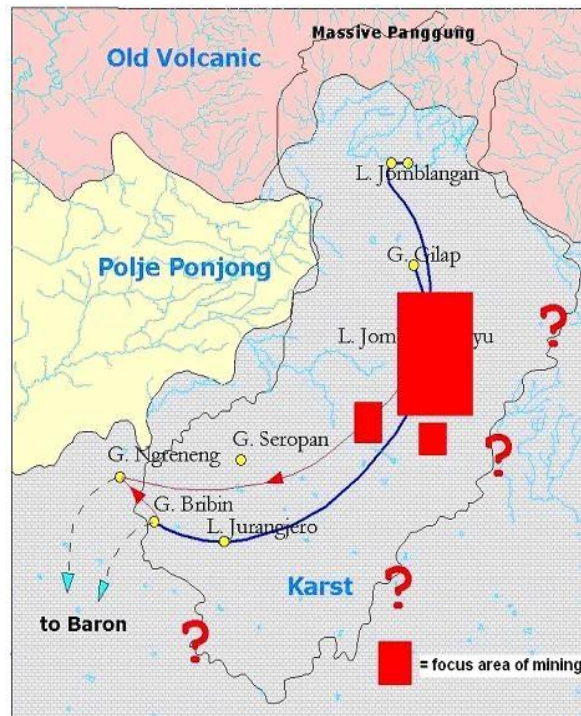
Merujuk kepada Haryono (2001), adalah permukaan dari bukit-bukit karst itulah yang berperan sebagai reservoir utama air di kawasan karst, dan sebaliknya tidak ada zone untuk menyimpan aliran *conduit* karena geraknya yang sangat cepat dan segera mengalir ke laut. Dalam istilah ilmu karst, zone permukaan bukit karst ini disebut sebagai zone **epikarst,** yaitu lapisan dimana terdapat konsentrasi air hasil infiltrasi air hujan. Menurut Klimchouk (1997), **epikarstic zone** atau dikenal juga sebagai **subcutaneous zone** adalah zone teratas yang tersingkap dari batuan karst yang memiliki permeabilitas dan porositas karena proses pelebaran celah adalah paling tinggi dibanding lapisan-lapisan yang lain, sehingga berperan sebagai media penyimpan yang baik. Zone ini berkontribusi sebagai penyedia aliran andalan di SBT bahkan pada periode kekeringan yang panjang. Figure 5 mengilustrasikan zone epikarst pada bukit-bukit conical di Gunungsewu.

AKTIVITAS PENAMBANGAN BATUGAMPING DI DAERAH TANGKAPAN SBT BRIBIN

Pengamatan lapangan melalui observasi menunjukkan bahwa pusat kegiatan penambangan batu gamping "keprus" (*chalky limestone*) yang berada di sebagian besar wilayah Kecamatan Ponjong terletak pada daerah tangkapan SBT Bribin dan bahkan tepat berada di atas alur sungai utama Bribin. Selain itu, banyak terdapat lokasi sisa penambangan dengan bukit karst yang sudah hilang tertebas menjadi bero dan tanpa usaha konservasi yang sesuai. Perhitungan sementara jumlah bukit yang sudah, sedang, dan akan ditambang berjumlah sekitar 50 buah bukit (Gambar 6).

Gambar 5. Konsep dari zone epikarst sebagai reservoir karst (dari Ford and Williams, 1995 dalam Haryono, 2001)

Gambar 6. Ilustrasi kegiatan penambangan di daerah tangkapan S. Bribin

Di Kecamatan Ponjong, industri penambangan batu gamping tersebar merata hampir di seluruh desa yang ada. Jumlah industri besar yang tercatat adalah 9 buah, beberapa yang paling besar adalah yang terletak di Desa Bedoyo, Kenteng, dan Karang Asem. Sementara industri kecil (rumah tangga) hampir ada di semua desa di Kecamatan Ponjong (Purnomo, 1998). Terpusatnya penambangan di lokasi tersebut adalah sebagai akibat banyaknya bukit karst yang tersusun oleh satu tipe batuan karbonat yang dikenal oleh masyarakat sebagai keprus atau *chalky limestone* yang dalam industri gamping merupakan salah satu bahan baku yang berkualitas paling baik untuk bahan baku bangunan (cat, semen, tegel, batubata), industri kimia (insektisida, fungisida, desinfektan), industri kosmetik (bedak dan sabun), serta untuk bahan industri lem dan semir sepatu. Sampai saat ini, jumlah industri penambangan dan pengolahan batugamping semakin meningkat jumlahnya baik itu industri dengan skala besar, sedang, dan kecil. Dari pengamatan lapangan dan interpretasi lokasi geografis, terlihat bahwa penumpukan industri

batugamping terletak pada pusat DAS Bribin, bahkan beberapa penambangan di Kenteng dan Karangasem tepat berada diatas SBT Bribin (Gambar 7). Hal ini berarti, jika merujuk pada nilai hidrologis bukit karst, maka memangkas bukit-bukit karst untuk kegiatan penambangan akan sangat signifikan mengurangi simpanan air, yang logikanya juga akan menurunkan debit Sungai Bribin dari waktu ke waktu.

Gambar 7. Posisi penambangan (kotak merah) yang mengelompok dan tepat berada diatas SBT Bribin

ADAKAH DAMPAK PENAMBANGAN TERHADAP AIR SBT BRIBIN?

Merujuk pada teori hidrologi karst dan kenyataan lapangan tentang banyaknya penambangan pada daerah tangkapan sistem SBT ini, maka dapat terjadi kemungkinan-kemungkinan sebagai berikut:

1. Akan terjadi **degradasi jumlah air yang tersimpan** sebagai komponen sungai Bribin karena hilangnya bukit karst. Sebagai suatu akuifer yang sangat berpotensi, bukit-bukit karst (*conical hills*) dengan porositas sekundernya yang mencapai lebih dari 30% (Tabel 1) pada zone epikarst berperan sangat penting sebagai reservoir utama kawasan ini. Dari data pada Tabel 1 tersebut terlihat bahwa porositas rata-rata bukit karst di Gunungsewu berkisar antara 30-35 %. Dalam perspektif airtanah, porositas tersebut tergolong besar dan sangat berpotensi untuk menyimpan air dalam jumlah yang besar. Sementara itu pada bagian di bawahnya, SBT dengan sistemnya hanya berperan sebagai media pengumpul dan pengatus (*drainage)* yang menerima tetesan dan rembesan air dari simpanan air zone epikarst melalui rekahan (*cavities*). Dapat dibayangkan, berapa jumlah kehilangan simpanan air yang akan timbul jika 1 (satu) buah bukit karst sebagai suatu media penyimpan utama air ditebas untuk keperluan penambangan.

Tabel 1. Porositas Bukit Karst di Kabupaten Gunungkidul (DAS Bribin-warna biru cetak tebal)

Areal Sampel	Karakteristik	Porositas (%)		
		Batuan	Rongga Pelarutan	Endapan Isian
Karst poligonal di Kec. Panggang	Batugamping terumbu yang keras dan dangkal, karren dan rongga pelarutan intensif, dijumpai banyak mataair	1,1-14,0	22,0-52,0	40,0-58,9
Karst Labirin di Kec. Saptosari dan Tepus	Batugamping terumbu yang keras dan dalam, karen dan rongga pelarutan intensif, jaringan lembah kering intensif, tidak terdapat mataair	13,0-16,6	22,0-52,0	36,6-40,2
Karst tower-cone di Kec. Ponjong bagian selatan	**Batugamping berlapis, lunak dan dalam, karren tidak berkembang baik, bukit terpencar dengan dataran planasi, tidak diketemukan mataair**	**23,1-48,2**	**<10,0**	**20,6-31,9**

Sumber: Haryono (2001)

2. Akan terjadi **perubahan perilaku waktu tunda terhadap hujan puncak pada puncak debit mataair maupun SBT**. Haryono (2001) mengungkapkan bahwa bukit karst yang mendominasi topografi DAS Bribin merupakan tandon air utama. Air yang tertampung di bukit karst pada zone epikarst akan teratus perlahan-lahan melalui celah-celah vadose, rekahan, dan selanjutnya mengisi aliran bawah tanah yang terus berkembang menjadi sungai bawah tanah. Oleh karena itu, mata air ataupun sungai bawah tanah di DAS Bribin akan mempunyai waktu tunda setelah kejadian hujan selama beberapa saat dengan kualitas kimia air yang relatif baik. Berkurangnya zona epikarst pada permukaan bukit gamping akan merubah perilaku pengisian komponen *diffuse* yang menjadi komponen air andalan pada saat musim kemarau. Sebaliknya, waktu tunda puncak banjir bisa menjadi lebih cepat setelah kejadian hujan karena rusaknya fungsi regulator pada permukaan bukit karst. Waktu tunda gua-gua sepanjang SBT Bribin disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Ringkasan parameter hidrologis saat banjir di SBT Bribin

Nama gua	Waktu menuju puncak banjir (jam)	Waktu menuju aliran *diffuse* (jam)
Gua Gilap	1,5 – 5	7 – 192
Gua Bribin	2 – 9,5	5 – 192
Gua Ngreneng	2,5 – 7,5	9 – 240

Sumber: Adji (2010)

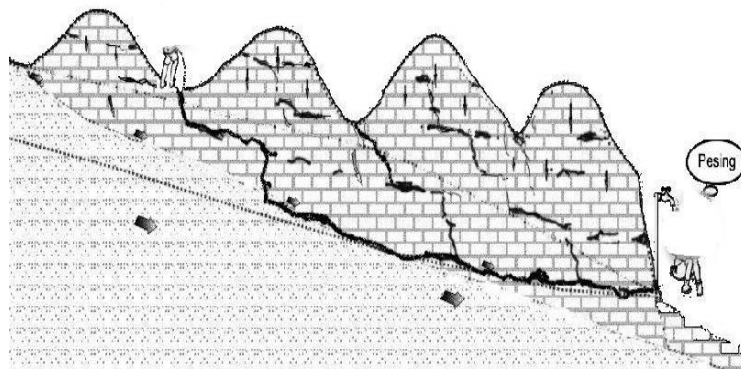
3. **Akan ada perubahan komposisi aliran dasar (*diffuse flow*) dibanding aliran total**. Jika permukaan bukit karst ditambang, maka proporsi aliran dasar terhadap aliran total sungai Bribin otomatis akan berkurang. Hal ini akan meningkatkan agresivitas airtanah terutama pada saat musim hujan, sehingga proses pelarutan akan menjadi semakin cepat, perkembangan lorong-lorong pada akuifer karst akan semakin cepat, dan pelebaran lorong SBT akan semakin cepat. Akibatnya, fungsi akuifer karst sebagai penahan air sebelum dilepaskan menuju SBT akan berkurang, sehingga akan lebih sulit mempertahankan jumlah debit andalan saat musim kemarau (Adji, 2005). Berdasarkan teori epikarst, penambangan bukit gamping akan mengurangi jumlah simpanan air *diffuse*, dan sebaliknya akan meningkatkan aliran *conduit* saat banjir. Dampak yang sangat tidak diharapkan adalah bertambahnya persentese aliran *conduit* saat musim hujan (banjir) tetapi berkurangnya persentase aliran *diffuse* saat musim kemarau. Fakta yang diungkap oleh Adji (2010) menyebutkan bahwa perhitungan koefisien resesi pada pelorongan *diffuse, fissure*, dan *conduit* yang mempengaruhi Persentase Aliran Dasar (PAD) bulanan pada gua-gua di SBT masih di atas 80% (*diffuse* dominan). Meskipun demikian, perhitungan PAD saat kejadian banjir menunjukkan bahwa nilainya turun drastis (hingga 50%) yang mengindikasikan pelorongan tipe *conduit* berkembang dan berhubungan langsung dengan aliran permukaan (Tabel 3 dan 4).

Tabel. 3. Persentase Aliran Dasar/Diffuse (PAD) bulanan di SBT Bribin

NO	BULAN	PAD (%)			MUSIM
		GILAP	BRIBIN	NGRENENG	
1	Mei 2006	80,41	97,03	80,35	kemarau
2	Juni 2006	80,47	98,40	80,36	kemarau
3	Juli 2006	80,93	98,53	80,37	kemarau
4	Agustus 2006	81,66	98,64	80,38	kemarau
5	September 2006	81,77	98,70	80,38	kemarau
6	Oktober 2006	82,09	99,14	80,38	kemarau
7	November 2006	82,36	99,40	80,38	kemarau
8	Desember 2007	80,11	97,44	81,78	hujan
9	Januari 2007	84,86	98,87	82,93	hujan
10	Pebruari 2007	77,49	97,22	83,48	hujan
11	Maret 2007	82,94	97,07	82,41	hujan
12	April 2007	82,85	98,26	81,78	hujan

Sumber: Adji (2010)

4. **Adanya degradasi atau kemungkinan bertambahnya pencemaran kualitas air.** Salah satu hal yang paling dikhawatirkan adalah karena posisi penambangan adalah tepat diatas S. Bribin (Gambar 4). Hal ini akan memicu pencemaran jika penambangan bukit karst memotong *vertical cavities* atau lorong vertikal sebagai penghubung zona permukaan dan sungai bawah tanah. Dengan kata lain, jika aktivitas penambangan menemukan "luweng" atau lorong vertikal saat menambang, maka tidak akan ada lagi filter atau saringan yang dapat menahan berbagai macam polutan dari permukaan (limbah, pemupukan, sampah, dll) untuk sampai ke sungai bawah tanah, karena zona epikarst di atasnya sudah habis ditambang. Hal ini ditemukan pada salah satu perusahaan tambang dikawasan Ponjong, sehingga ketika hujan segala sesuatu di permukaan langsung masuk kedalam lorong dan akan sangat cepat sampai ke S. Bribin. Kualitas air sungai bawah tanah Bribin-Baron sebenarnya saat ini masih dikategorikan baik sebagai bahan baku air untuk keperluan air minum dan keperluan lainnya. Hasil penelitian terakhir menunjukkan bahwa secara fisik dan kimia air di sungai Bribin dan Baron masih layak dikonsumsi, meskipun secara biologis kandungan bakteri koli sudah mulai terdeteksi. Yang perlu diwaspadai dalam hal ini adalah kenyataan bahwa tangkapan air sungai bawah tanah Bribin dan Baron berasal dari sungai permukaan di selatan kota Wonosari dan ponor/luweng yang terdistribusi merata dengan jumlah yang

banyak. Jika kita mencermati gambar tangkapan air Sungai Bribin dan Baron, terlihat bahwa selain tangkapan air yang berupa sungai permukaan yang berpotensi memasok pencemar, tampak pula bahwa lobang-lobang ponor atau luweng yang tersebar merata di sekitar sungai Bribin dan Baron yang secara hidrologis juga sangat efektif untuk menjadi sumber pencemar. Sumber pencemar yang sangat mungkin diantaranya adalah limbah domestik yang dibuang di luweng, sampah, dan pestisida atau pupuk yang digunakan untuk keperluan pertanian yang banyak sekali dijumpai di sekitar luweng. Hal ini dalam kurun waktu yang panjang bahkan mungkin singkat, jika tidak dikendalikan akan mencemari dan menurunkan kualitas air di Sungai Bribin dan Baron. Bagaimana, apakah ada peluang bahwa sistem SBT Bribin-Baron tercemar oleh pencemar dari luar? Beberapa penelitian mengungkapkan bahwa sistem SBT Bribin-Baron sudah tercemar oleh bakteri koli yang mungkin mencemari karena pembuangan limbah domestik dan rumah tangga secara langsung ke kawasan karst ini. Memang, sampai saat ini belum ada aturan dari pemerintah yang khusus untuk mengkonservasi luweng/ponor/lobang masuk di kawasan karst, sehingga penduduk bebas untuk membuang limbah mereka kedalam gua/luweng/ponor. Konsep menjalarnya pencemaran di daerah karst Gunungsewu disajian pada Gambar 5. Sebagai tambahan informasi, bahan pencemar lain yang mungkin masuk ke SBT adalah pupuk dan pestisida sebagai akibat aktivitas pertanian di permukaan karst. Bahkan, penelitian oleh Sudarmadji *et al.* (2005) mengungkapkan bahwa saat musim hujan SBT Bribin sudah tercemar bakteri koli yang kadarnya cukup tinggi (diatas 2400 MPN/100 ml), dan NO_3 juga terdeteksi saat musim kemarau dalam kadar yang cukup tinggi pula (8.5 mg/liter). Penelitian ini juga menemukan bahwa beberapa jenis logam berat sebagai bahan pencemar lain juga ditemukan pada pada sistem SBT Bribin-Baron (Tabel 5). Jika melihat Tabel 5, dan kemudian dicocokkan dengan Baku Mutu Air Minum, beberapa paramater terlihat melebihi ambang yang diperbolehkan seperti beberapa logam berat (Cd, Pb) dan bakteri koli pada sampel no 2-Sungai Tegoan; logam berat (Cr_6, Pb), BOD, bakteri koli di Sumurup sinkhole (sampel 3); Cd, Pb, bakteri koli di Kali Suci sinkhole (Sampel 4). Lebih jauh lagi, karena keberadaan pencemar sepanjang sungai permukaan yang masuk ke SBT, air di SBT Bribin dan Baron juga mengandung pencemar yang levelnya di atas ambang pada baku mutu, diantaranya adalah bakteri koli dan COD, serta logam berat (Cr_6) khusus di mataair Baron. Data-data pada penelitian ini juga menunjukkan bahwa kandungan pencemar terutama bakteri koli jauh lebih tinggi dijumpai saat musim hujan.

Gambar 5. Konsep menjalarnya pencemar dari permukaan menuju SBT (Haryono, 2004)

Tabel. 4. Persentase Aliran Dasar/Diffuse (PAD) saat kejadian banjir di SBT Bribin

NO	GUA GILAP		GUA BRIBIN		GUA NGRENENG	
	WAKTU BANJIR	PAD (%)	WAKTU BANJIR	PAD (%)	WAKTU BANJIR	PAD (%)
1	13/12/06 jam 19:00	45,08	6/12/06 jam 22:30	98,38	13/12/06 jam 19:30	41,43
2	22/12/06 jam 15:30	55,52	7/12/06 jam 23:00	99,02	15/12/06 jam 18:30	44,68
3	31/12/06 jam 06:30	57,75	13/12/06 jam 19:30	86,16	18/12/06 jam 13:30	50,85
4	16/2/07jam 16:30	57,25	29/12/06 jam 00:30	77,72	20/12/06 jam 18:30	43,88
5	24/2/07 jam 19:00	51,25	30/12/06 jam 17:00	82,69	22/12/06 jam 20:30	44,68
6	26/2/07 jam 18:00	58,55	16/2/07 jam 18:00	92,29	5/2/07 jam 17:00	45,68
7	6/3/07 jam 21:00	79,91	22/2/07 jam 21:00	81,81	19/2/07 jam 20:30	40,79
8	9/3/07 jam 19:00	78,18	23/2/07 jam 20:00	84,51	20/2/07 jam 20:00	59,77
9	14/3/07 jam 02:00	78,92	28/2/07 jam 01:30	89,91		
10	19/3/07jam 00:00	72,75	7/3/07 jam 05:00	99,05		
11	21/3/07jam 08:00	77,20	7/4/07 jam 22:00	95,50		
12	23/3/07 jam 08:00	50,88	27/4/07 jam 20:00	97,25		
13	7/4/07 jam 01:30	70,33				
14	10/4/07 jam 18:00	62,94				
15	11/4/07 jam 15:00	76,30				
16	16/4/07 jam 23:30	73,80				
Rerata		65,41		90,36		46,47

Sumber: Adji (2010)

Tabel 5. Kontaminasi pada sistem SBT Bribin-Baron

Parameters	Petung River	Tegoan River	Sumurup sinkhole	Suci Sinkhole	Bribin Cave	Baron
7 February 2005 (musim hujan)						
NO_3	1.6	4.4	2.6	2	4.2	3
NO_2	0	0	0	0	0	0
Cr_6	0	0.401	0.46	0.042	0	0.46
Cu	0	0	0	0	0	0
Zn	0.003	0.02	0	0	0	0.04
Cd	0.01	0	0	0.01	0.01	0
Pb	0.22	0	0	0.21	0	0.12
BOD	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2

Parameters	Petung River	Tegoan River	Sumurup sinkhole	Suci Sinkhole	Bribin Cave	Baron
COD	2.8	2.3	2.1	1.8	1.8	3.1
Coli bacteria	> 2400	> 2400	> 2400	> 2400	>2400	>2400
25 May 2005 (musim kemarau)						
NO_3	3	2.4	2	3	2.2	0
NO_2	0	0	0	0	0.01	0
Cr_6	-	-	-	-	-	-
Cu	-	-	-	-	-	-
Zn	-	-	-	-	-	-
Cd	-	-	-	-	-	-
Pb					-	-
BOD	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
COD	3.6	3.3	4.9	4.2	3.6	7.5
Coli bacteria	75	20	7	21	9	1100
20 September 2005 (musim kemarau)						
NO_3	7.8	7.6	7.8	7.7	8.5	9.2
NO_2	0.5	6.4	0	7.7	0	0
Cr_6	0.4	0.31	0.29	0.35	-	-
Cu	-	-	-	-	-	-
Zn	-	-	-	-	-	-
Cd	-	-	-	-	-	-
Pb					-	-
BOD	-	-	-	-	0.1	0.1
COD	0.1	0.1	0.1	0.1	18	4.3
Coli bacteria	2.3	1.1	25	1.1	23	75

*Coli bacteria in MPN/100 m, others in mg/l

5. Lebih jauh lagi, terungkap pula bahwa ekosistem karst Gunungsewu melalui siklus hidrologi yang ada di dalamnya juga mempunyai peran terhadap penyerapan karbon, pengonsumsi karbon, dan penyeimbang siklus karbon yang dapat mereduksi efek rumah kaca dan pemnasan global yang terjadi. Hasil perhitungan sementara menunjukkan bahwa jumlah karbon aktif yang "dimakan" oleh proses karstifikasi di Gunungsewu selama setahun adalah berjumlah sekitar 72.000 ton gas karbondioksida (Haryono, *et al,* 2009). Tentu saja, hal ini merupakan jumlah yang sangat besar. Belum lagi jika kita menghitung jumlah karbon pasif berupa mineral kalsit ($CaCO_3$) yang disimpan dalam bentuk blok batu gamping atau bukit-bukit karst yang jumlahnya mungkin milyaran ton???. Sekali kita menambang bukit

gamping, dan mulai membakarnya, maka berapa banyak gas karbondioksida yang dilepaskan ke udara dan berpotensi terhadap efek rumah kaca dan pemanasan global?

KESIMPULAN

Sebagai sebuah sistem, maka SBT Bribin-Baron mempunyai komponen-komponen yang terkait satu sama lain. Sebagai pemasok utama sumberdaya air, SBT tentu mempunyai input atau media penyimpan yang tentu saja dapat berkurang simpanannya jika perilaku alami penyimpanan yang merupakan bagian dari siklus hidrologi secara umum terganggu oleh aktivitas manusia. Untuk itulah, kegiatan bermotif ekonomi pada sistem ini harus dilakukan dengan penuh kehati-hatian serta dibatasi peruntukannya, karena terganggunya sistem penyimpanan dan pelorongan pada media penyimpan batugamping akan berakibat terhadap berkurangnya air baik secara kualitas atau kuantitas pada keluaran berupa SBT atau mataair. Dampak ini dapat terlihat setelah kurun waktu yang panjang atau singkat, tergantung gangguan yang dialami oleh daerahtangkapan airnya. Jika ini terjadi, maka degradasi sumberdaya air karena berubahnya struktur retakan akuifer di SBT Bribin tidak akan mungkin dapat dipulihkan kembali dengan cara apapun.

DAFTAR PUSTAKA

Adji, T.N., 2010. Variasi Spasial-Temporal Hidrogeokimia dan Sifat Aliran Untuk Karakterisasi Sistem Karst Dinamis di Sungai Bawah Tanah Bribin, Kabupaten Gunungkidul, DIY. **Disertasi.** Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, http://tjahyo-adji.staff.ugm.ac.id/tjahyo_adji_S3.pdf

Adji, T.N., 2005, Agresivitas Airtanah Karst Sungai Bawah Tanah Bribin, Gunungsewu. **Indonesian Cave and Karst Journal, Vol. 1 (1).** HIKESPI.

Adji, T.N., Nurjani, E.. 1999. Optimasi Airtanah Karst Sebagai Pemasok Air Domestik Pada Kawasan Kritis Air di Gunungkidul. **Laporan Penelitian** MAK 5250, LP UGM, Yogyakarta.

Danes, J.V. 1910. Die Karstphanomene in Goenoeng Sewoe auf Java. ***Tjdschrift van het kon. Ned. Aardrijksk. Gen*. Tweede Serie, deel XXVII.** Hal: 247-260

Ford, D. dan Williams, P. 1992. **Karst Geomorphology and Hydrology**. London: Chapman and Hall.

Gillieson, D. 1996. **Caves: Processes, Development, and Management.** Oxford: Blackwell.

Haryono, E. Day, M. 2004. Landform differentiation within the Gunungkidul Kegel Karst, Java, Indonesia. ***Journal of Cave and Karst Studies*. Vol. 66 (2).** Hal: 62-69.

Haryono, E. 2001. Nilai Hidrologis Bukit Karst. **Makalah pada seminar Nasional, Eko-Hidrolik.** 28-29 maret 2001. Jurusan Teknik Sipil , UGM.

Haryono, E. 2004. **Hidup Bersahabat Dengan Kawasan Karst.** Forum Karst Goenoeng Sewoe.

Haryono, E., Adji, T.N., Widyastuti, M., dan Trijuni, S. 2009. Atmospheric Carbon Dioxide Sequestration Trough Karst Denudation Process, Preliminary Estimation From Gunungsewu Karst. **Proceeding of Achieving Resilient-Agriculture to Climate**

Change Through the Development of Climate-Based Risk Management Scheme. PERHIMPI, Bogor.

Klimchouk, A. 1997. The nature and principal characteristics of epikarst. In: P.-Y. Jeannin (Editor). **12th International Congress of Speleology**. La Chaux-de-Fonds. P. 306.

Lehmann, H. 1936. **Morfologiche Studien auf Java.** Gohr, Abh, 3, Stutgart.

MacDonalds and Partners. 1984. **Greater Yogyakarta – Groundwater Resources Study. Vol 3C: Cave Survey.** Yogyakarta, Directorate General of Water Resources Development Project (P2AT).

Purnomo, D.R. 1998. Karakteristik Pekerja Industri Pengolahan Gamping (Kasus Pekerja Industri Pengolahan Gamping di Kecamatan Ponjong dan Semanu, Kabupaten Gunungkidul). **Skripsi Sarjana.** Fakultas Geografi UGM

Smart, P.L. dan Hobbes, S.L. 1986. Characteristics of Carbonate Aquifers: A conceptual basis. **In Proceedings, Environmental Problem in Karst Terrains and Their Solution.** Bowling Green, KY: National Well Water Association, 1-4.

Sudarmadji, Haryono, E., dan Widyastuti, M. 2005. Pengembangan Metode Konservasi Air Bawah Tanah di Kawasan Karst Sistem Bribin-Baron, Kab. Gunungkidul. **Laporan Penelitian** Hibah bersaing XIII/1.

Sweeting, M.M. 1972. **Karst Landforms**. London: Macmillan.

White, W.B. 1988. **Geomorphology and Hydrology of Karst Terrain**. New York: Oxford University Press.

White, W.B., 1993. Analysis of Karst Aquifer. In:Alley, W.M. (editor). **Regional Groundwater Quality.** New York: Van Nostrand Reinhold.